

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Проректор по учебной работе и  
довузовской подготовке**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Теория колебаний
<b>по направлению:</b>	Техническая физика
<b>профиль подготовки:</b>	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической механики
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 1

Программу составил: В.В. Сидоренко, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической механики 09.04.2020

## Аннотация

Дисциплина опирается на результаты таких курсов, как классическая общая алгебра, теория обыкновенных дифференциальных уравнений, теоретическая механика, теория функций комплексного переменного. Особенностью изучения дисциплины является частое обращение к аппарату математического анализа и других смежных математических курсов, использование практически важных примеров из предметной области теоретической механики, физики, электротехники, акустики.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Формирование у слушателей единого и строгого физико-математического подхода к исследованию колебательных явлений различной природы. Изучение дисциплины «Теория колебаний» является обязательным элементом подготовки специалистов, имеющих дело со сложными естественными и техногенными системами.

### Задачи дисциплины

Приобретение слушателями навыков построения математических моделей разнообразных колебательных процессов, встречающихся в природе и в технике.

Овладение современными численными и аналитическими методами исследования математических моделей колебательных процессов.

Воспитание умения соотносить результаты исследования формальной математической модели с поведением реальной системы.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.1 Способен устанавливать разные виды коммуникации (учебную, научную, деловую, неформальную и др.)
	УК-3.2 Взаимодействует с другими членами команды для достижения поставленной задачи
ОПК-2 Способен применять методы математического анализа, математического моделирования и оптимизации для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	ОПК-2.1 Знаком с основными методами математического анализа, математического моделирования и оптимизации
	ОПК-2.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-2.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-3 Способен осуществлять теоретические и экспериментальные исследования в избранной области технической физики, учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен проводить анализ проблем и задач, возникающих в избранной области технической физики
	ОПК-3.2 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований
	ОПК-3.3 Обладает способностью к освоению и применению новых знаний, полученных при изучении литературы, научных статей и других источников

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

Основные свойства колебательных процессов в нелинейных и неавтономных системах;  
Условия возникновения и развития различных колебательных процессов;  
Ситуации появления сложного (недетерминированного) поведения.

уметь:

Строить математические модели колебательных явлений;  
Выделять «управляющие» параметры, определяющие (качественно и количественно) свойства колебательных процессов в конкретных системах;  
Применять численные методы и методы теории возмущений для изучения колебательных явлений;  
Устанавливать соответствие между результатами исследования математической модели и поведением реальной системы.

владеть:

Численными и аналитическими методами исследования колебательных явлений.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Качественный анализ движения в консервативной системе с одной степенью свободы	2			3
2	Уравнение Дюффинга	2			2
3	Квазилинейные системы	4			3
4	Релаксационные колебания	2			2
5	Динамика нелинейных автономных систем общего вида с одной степенью свободы	4			3
6	Элементы теории Флоке	4			2
7	Уравнение Хилла	2			3
8	Вынужденные колебания в системе с нелинейной восстанавливающей силой	2			2
9	Адиабатические инварианты	2			3
10	Динамика многомерных динамических систем	2			2
11	Уравнения Лоренца. Странный аттрактор	2			3
12	Одномерные отображения. Универсальность Фейгенбаума	2			2
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

1. Качественный анализ движения в консервативной системе с одной степенью свободы

- Метод фазовой плоскости.
- Зависимость периода колебаний от амплитуды. Мягкие и жесткие системы.

2. Уравнение Дюффинга

- Выражение для общего решения уравнения Дюффинга в эллиптических функциях.

3. Квазилинейные системы

- Переменные Ван-дер-Поля.
- Метод усреднения.

4. Релаксационные колебания

- Уравнение Ван-дер-Поля.
- Сингулярно возмущенные системы дифференциальных уравнений.

5. Динамика нелинейных автономных систем общего вида с одной степенью свободы

- Понятие «грубости» динамической системы.
- Бифуркации динамических систем.

6. Элементы теории Флоке

- Нормальные решения и мультипликаторы линейных систем дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами.
- Параметрический резонанс.

7. Уравнение Хилла

- Анализ поведения решений уравнения типа Хилла как иллюстрация применения теории Флоке к линейным гамильтоновым системам с периодическими коэффициентами.
- Уравнение Матье как частный случай уравнения типа Хилла. Диаграмма Айнса-Стретта.

8. Вынужденные колебания в системе с нелинейной восстанавливающей силой

- Связь амплитуды колебаний с величиной вынуждающей силы, прикладываемой к системе.
- Изменение режима движения при изменении частоты вынуждающей силы. Понятие о «динамическом» гистерезисе.

9. Адиабатические инварианты

- Переменные «действие-угол».
- Сохранение адиабатических инвариантов при качественном изменении характера движения.

10. Динамика многомерных динамических систем

- Понятие об эргодичности и перемешивании в динамических системах.
- Отображение Пуанкаре.

## 11. Уравнения Лоренца. Странный аттрактор

- Уравнения Лоренца как модель термоконвекции.
- Бифуркации решений уравнений Лоренца. Переход к хаосу.
- Фрактальная структура странного аттрактора.

## 12. Одномерные отображения. Универсальность Фейгенбаума

- Квадратичное отображение – простейшее нелинейное отображение.
- Периодические орбиты отображений. Бифуркации периодических орбит.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, маркерная доска, связь с Интернетом).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Асимптотические методы нелинейной механики [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Моисеев. — 2-е изд., перераб. — М. : Наука, 1981. — 400 с.

### Дополнительная литература

1. Введение в теорию нелинейных колебаний [Текст] / Н. В. Бутенин, Ю. И. Неймарк, Н. А. Фуфаев - М.Наука,1976
2. Введение в синергетику [Текст] / А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов учеб. пособие для вузов - М.Наука,1990

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://lib.mipt.ru> - сайт электронной библиотеки МФТИ
2. [https://mipt.ru/education/chair/theoretical\\_mechanics/](https://mipt.ru/education/chair/theoretical_mechanics/) - сайт кафедры теоретической механики МФТИ
3. <http://www.elibrary.ru/>

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Для обеспечения лучшего освоения «Теории колебаний» необходимо иметь возможность наглядной демонстрации примеров численного моделирования колебательных процессов в различных системах.

В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, Mathematica и др.

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

Методическая литература:

1. Арнольд В.И., Козлов В.В., Нейштадт А.И. Математические аспекты классической и небесной механики. М.: Эдиториал УРСС, 2002.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Техническая физика
<b>профиль подготовки:</b>	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической механики
<b>курс:</b>	<u>4</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	В.В. Сидоренко, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.1 Способен устанавливать разные виды коммуникации (учебную, научную, деловую, неформальную и др.)
	УК-3.2 Взаимодействует с другими членами команды для достижения поставленной задачи
ОПК-2 Способен применять методы математического анализа, математического моделирования и оптимизации для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	ОПК-2.1 Знаком с основными методами математического анализа, математического моделирования и оптимизации
	ОПК-2.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-2.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-3 Способен осуществлять теоретические и экспериментальные исследования в избранной области технической физики, учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен проводить анализ проблем и задач, возникающих в избранной области технической физики
	ОПК-3.2 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований
	ОПК-3.3 Обладает способностью к освоению и применению новых знаний, полученных при изучении литературы, научных статей и других источников

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория колебаний» обучающийся должен:

### знать:

Основные свойства колебательных процессов в нелинейных и неавтономных системах;  
Условия возникновения и развития различных колебательных процессов;  
Ситуации появления сложного (недетерминированного) поведения.

### уметь:

Строить математические модели колебательных явлений;  
Выделять «управляющие» параметры, определяющие (качественно и количественно) свойства колебательных процессов в конкретных системах;  
Применять численные методы и методы теории возмущений для изучения колебательных явлений;  
Устанавливать соответствие между результатами исследования математической модели и поведением реальной системы.

### владеть:

Численными и аналитическими методами исследования колебательных явлений.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Пример типовых контрольных вопросов:



1. Бифуркации динамических систем
2. Основные понятия теории Флоке: нормальные решения и мультипликаторы линейных систем дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами
3. Параметрический резонанс
4. Вынужденные колебания в системе с нелинейной восстанавливающей силой: связь амплитуды колебаний с величиной вынуждающей силы, прикладываемой к системе
5. Вынужденные колебания в системе с нелинейной восстанавливающей силой: изменение режима движения при изменении частоты вынуждающей силы
6. Понятие о «динамическом» гистерезисе.
7. Переменные «действие-угол»
8. Адиабатические инварианты систем с медленно изменяющимися параметрами
9. Понятие об эргодичности и перемешивании в динамических системах
10. Отображение Пуанкаре
11. Уравнения Лоренца. Странный аттрактор
12. Одномерные отображения. Универсальность Фейгенбаума

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Примеры билетов:

Билет 1.

1. Уравнение Дюффинга и его свойства
2. Как построить фазовый портрет консервативной системы?

Билет 2.

1. Уравнение Матье и его свойства. Диаграмма Айнса-Стретта
2. Метод усреднения в системах с одной быстрой переменной

Билет 3.

1. Уравнение Ван-дер-Поля и его свойства
2. Эллиптические функции Якоби  $\operatorname{sn}(u,k)$ ,  $\operatorname{cn}(u,k)$ ,  $\operatorname{dn}(u,k)$ : определение, свойства, примеры использования

Билет 4.

1. Уравнение Хилла и его свойства
2. Релаксационные колебания: определение и примеры

Билет 5.

1. Как зависит период колебаний от амплитуды в мягких и жестких системах?
2. Понятие «грубости» динамической системы.

#### **Критерии оценивания**

Оценка отлично 10 баллов выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.